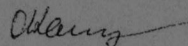


0-773206

На правах рукописи

Капустина Ольга Васильевна



**ТОНКАЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ЕСТЕСТВЕННЫХ
ОНЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ В ПРИЗЕМНОЙ ПЛАЗМЕ**

25.00.29 - физика атмосферы и гидросферы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Троицк
2008

003853

Диссертация выполнена в учреждении Российской Академии Наук
Институте Земного Магнетизма Ионосферы и Распространения радиоволн им.
Н.В.Пушкова РАН

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Михайлов Юрий Михайлович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Зайцев Александр Николаевич

кандидат физико-математических наук Могилевский Михаил Менделевич

Ведущая организация:

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн
Дальневосточного отделения Российской Академии наук

Защита состоится «23» декабря 2008 г. в 10 часов 00 мин. на заседании
диссертационного совета Д 002.237.01 при Институте Земного Магнетизма
Ионосферы и Распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН по адресу:
142190, г. Троицк, Московская обл. ИЗМИРАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЗМИРАН

Автореферат разослан «21» ноября 2008 г.

И.о.ученого секретаря
диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000439056

Деминов М.Г.

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена исследованию тонкой частотно-временной структуры естественных ОНЧ-излучений в приземной плазме.

Актуальность темы. В 60-70-х годах прошлого столетия в связи с постановкой практических задач по применению низкочастотных излучений в таких областях, как дальняя радиосвязь, пеленгация молниевых разрядов, изучение среды, через которую распространяются эти излучения и т.д., возникла необходимость в создании более гибкой, развитой и надежной, чем аналоговая, системы регистрации и анализа данных. Эта задача была поставлена в отделе физики приземной плазмы ИЗМИРАН. Под руководством Я.Л.Альперта при активном участии Г.А.Михайловой и соискателя проводилась разработка и создание цифрового комплекса обработки спутниковых данных совместно со Спецсектором ИФЗ АН под руководством П.В.Кевлишвили при активном участии И.П.Башилова. Первоначально стоял вопрос визуализации данных. В ходе выполнения этой задачи появился интерес использовать цифровые методы спектрального анализа, развитые в других областях знаний, для изучения низкочастотных электромагнитных волн. Результаты предлагаемой работы с использованием методов цифрового спектрального анализа показали их высокую эффективность и позволили выявить ряд новых свойств электромагнитных волн в приземной плазме в КНЧ-ОНЧ диапазоне, в частности, с их помощью был открыт эффект “поперечного резонанса” твиков. Последовал целый ряд публикаций с использованием результатов анализа магнитофонных записей, полученных в экспериментах на ИСЗ “Интеркосмос-3, 5, 18, 19, 24 и 25”, “Ореол-3”, а также космического аппарата “ВЕГА” и, совсем недавно, “Компас-2”. Цифровые методы успешно используются при анализе наземных данных, полученных с помощью автономной автоматической системы регистрации, созданной для совместной работы с ОНЧ бортовой аппаратурой спутника “Компас-2”.

Цель исследований. Основной целью работы является исследование тонкой частотно-временной структуры естественных ОНЧ-излучений в приземной плазме на базе аналого-цифрового преобразования сигналов и цифровых методов спектрально-временного анализа для обнаружения новых свойств как самих низкочастотных электромагнитных волн, так и среды, в которой они распространяются.

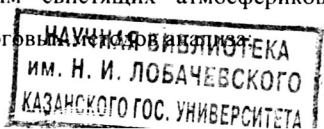
Достоверность полученных в диссертации результатов определялась следующим:

- устойчивостью работы приемно-регистрирующей аппаратуры;
- выбором эффективных алгоритмов сбора, первичной и последующей обработки;
- хорошей корреляцией полученных данных с результатами других исследований.

Предмет исследования: Электромагнитные сигналы молниевых разрядов в приземном волноводе в литературе известны как атмосферерики, твики, а во внешней ионосфере как свистящие атмосферерики (СА). Эти сигналы, взаимодействуя с окружающей средой, способны возбуждать в том же диапазоне частот ионно-циклотронные СА, а также шумовые излучения. Тонкий амплитудно-частотный и частотно-временной анализ этих сигналов, их поведение в ансамбле, а также диагностика свойств приземной плазмы и составляет предмет исследования.

Научная новизна работы:

- впервые внедрены различные методы цифрового спектрального анализа для обработки низкочастотных спутниковых и наземных записей с детальным анализом методических и аппаратурных погрешностей;
- впервые выполнен анализ тонкой структуры КНЧ и ОНЧ пакетов электромагнитных волн и показано, что квазипериодическая структура аналоговых сонограмм свистящих атмосферериков является результатом несовершенства аналоговых систем связи.



- впервые получены и путем анализа тонкой структуры КНЧ и ОНЧ пакетов волн исследованы амплитудные характеристики частично-диспергированных коротких свистящих атмосфериков (КСА), зарегистрированных в разное время суток на разных высотах внешней ионосферы, а также стимулированное ими шумовое излучение;
- определены температура и градиенты относительной концентрации протонов во внешней ионосфере на основе тонкого спектрально-временного анализа протонных СА;
- впервые проанализированы широкополосные записи ОНЧ-сигналов, наблюдаемых во внешней ионосфере при пролете ИСЗ над сейсмоактивными регионами (Иран, Западная Европа) и у поверхности Земли (Камчатка);
- впервые исследованы свойства ОНЧ-излучений во внешней ионосфере и около земной поверхности при высокой циклонической активности в Тихом океане.

Научная значимость работы:

Значение работы вытекает из поставленных в ней задач. Получен целый ряд новых свойств дискретных сигналов в УНЧ-, КНЧ-, ОНЧ-диапазонах частот во внешней ионосфере и около Земли, которые в настоящее время нуждаются в теоретической интерпретации. Достоверность полученных в работе экспериментальных данных вызывает интерес и доверие теоретиков при их интерпретации. Об этом свидетельствует ряд работ, выполненных совместно с Н.И.Будько и Б.С.Рябовым. Некоторые результаты ориентируются на практическое применение:

- определение температуры и градиентов концентрации протонов;
- изучение свойств прохождения сильных атмосфериков в ионосферу;
- поиски признаков готовящегося землетрясения.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Внедрены различные методы цифрового спектрального анализа в обработку низкочастотных спутниковых и наземных записей с детальным анализом методических и аппаратурных погрешностей.
2. Показано, что квазипериодическая структура аналоговых сонограмм свистящих атмосфериков является результатом несовершенства аналоговых методов анализа.
3. Статистическое исследование амплитудных характеристики КСА, наблюдаемых в разное время суток на разных высотах внешней ионосферы, показало, что частота максимума амплитудного спектра в диапазоне частот до 1 кГц больше зависит от расстояния источника СА в приземном волноводе до начала силовой трубки, чем от высоты в ионосфере.
4. Определены температура и градиенты относительной концентрации протонов во внешней ионосфере.
5. Впервые проанализированы широкополосные записи ОНЧ-сигналов, наблюдаемых во внешней ионосфере при пролете ИСЗ над сейсмоактивными регионами (Иран, Западная Европа) и у поверхности Земли (Камчатка) в разных геофизических условиях.
6. Исследованы свойства ОНЧ-излучений во внешней ионосфере и около земной поверхности при высокой циклонической активности в Тихом океане.

Апробация работы:

Основные результаты работы, составляющие содержание диссертации, докладывались на секциях Ученого совета ИЗМИРАН, на конференциях, семинарах и симпозиумах как отечественных, так и международных:

Конференция молодых специалистов ИЗМИРАН (1975),

Симпозиум КАПГ по солнечно-земной физике (1976), Тбилиси.

IV Всесоюзный семинар по ОНЧ излучениям (1978), Тбилиси.

V Всесоюзный семинар по ОНЧ излучениям (1980), Мурманск.

XII научная конференция ИЗМИРАН (1982), ИЗМИРАН.

VI Всесоюзная школа-семинар по ОНЧ излучениям (1983), Звенигород.

IV Симпозиум КАПГ по солнечно-земной физике (1984), Сочи.

VII Всесоюзная школа-семинар по ОНЧ излучениям (1988), Троицк.

IX Всесоюзный семинар по ОНЧ излучениям (1991), Спорткомплекс ЦСКА, Московская обл.

Международная научная конференция “Интеркосмос-30” (2003), Москва.

VII Международный Суздальский симпозиум URSI (2007), Москва.

X Международный Семинар “Низкочастотные волновые процессы в космической плазме”, Звенигород (2007).

Разработка установки Цифрового спектроанализатора (первый вариант ЦСА) была представлена на ВДНХ и отмечена наградами.

Личный вклад автора.

- участие в испытаниях комплекса цифровой обработки спутниковой информации;
- внедрение цифровых методов анализа данных в КНЧ-ОНЧ-диапазон частот, методики визуализации данных, в частности выбор наиболее эффективных алгоритмов выделения сигналов (дискретных и шумовых);
- обработка и визуализация широкополосных данных, полученных на спутниках серии “Интеркосмос”, и наземных данных;
- полная обработка и визуализация широкополосных и узкополосных УНЧ-ОНЧ данных, полученных на спутнике “Интеркосмос-24” в период 1989-1992 гг.;
- участие в интерпретации данных;
- непосредственное участие в разработке и проведении наземных экспериментов по проекту КОМПАСС.

Все результаты, приведенные соискателем, получены либо лично, либо в составе авторского коллектива. Соавторы согласны с использованием результатов совместных работ в диссертации.

Часть работ, выполненных по теме, была поддержана грантами РФФИ №№ 00-05-65020; 00-05-79047; 04-05-65100.

Публикации по работе:

По теме диссертации, кроме тезисов и статей в трудах конференций, опубликовано 13 статей в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах.

Структура и объем работы:

Диссертация включает в себя 3 главы, Введение, Заключение, содержит 131 страницу текста, включая 44 рисунка и 14 таблиц. Библиографический список содержит 110 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены постановка задачи, цель работы, методы и средства ее выполнения, краткое содержание. **Первая глава** содержит обзор литературы по низкочастотным исследованиям в КНЧ-ОНЧ диапазоне волн и первых попытках цифрового анализа экспериментальных данных. **Во второй главе** подробно представлены алгоритмы классических методов анализа и проанализированы методические погрешности этих алгоритмов:

1. Алгоритм спектрального анализа скользящим временным "окном" состоит в следующем: волновая форма длительностью T_s последовательно умножается на временное "окно" $W(t)$ длительностью T . Затем рассчитывается преобразование Фурье этого произведения $S(f, q) = \int E(t) W(t-\tau) e^{i2\pi f t} dt$. При изменении параметра q получается последовательность мгновенных спектров, по которой определяется зависимость частоты максимальной интенсивности f_{\max} от времени, т.е. $f_{\max}(\tau)$. Метод скользящего временного окна определяет не истинный спектр, а некий средний, или взвешенный, спектр. Степень его

сглаживания зависит от длительности и формы функции $W(t)$. В пределе, когда T совпадает с T_0 или когда полосы спектров $E(f)$ и $W(f)$ равны между собой, то мгновенный спектр равен истинному. Отсюда следует, что при анализе частотно-модулированного колебания этим методом можно ожидать **оптимальных условий**, при которых ширина спектра "окна" равна полосе качания частоты, т.е. $1/\int_0^T W(t)dt = \beta \cdot T$ ($\beta = df/dt$). Это предположение проверено по результатам анализа функции, описывающей колебания постоянной амплитуды с частотой, возрастающей по линейному закону, а также функции, моделирующей "хвост" протонного свистящего атмосферика.

2. Для выполнения спектрально-временного анализа (СВАН) комплексная функция $E(f)$ умножается последовательно на частотное "окно" вида $H_j(f-f_{j0}) = \exp(-\alpha((f-f_{j0})/f_{j0})^2)$, $j = 1, 2, 3, \dots, k$. Затем для каждого произведения $H(f) \cdot E(f)$ по алгоритму БПФ рассчитывается обратное преобразование Фурье. В результате получается матрица значений модуля и аргумента огибающей "отклика" $J(f_{j0}, \tau)$ на выходе " k " фильтров (Гаусса).

Далее описана методика восстановления комплексной спектральной плотности $E(f)$ входного сигнала по этому "отклику". По результатам "СВАН" аналитически заданных функций с известными законами изменения $E(f)$ и $f(t)$ оценены погрешности $|E(f)|$ и $\arg E(f)$ метода.

Если на гауссов фильтр воздействуют последовательно два частотно-модулированных колебания, сдвинутых по времени на величину δt , то даже в случае линейного закона $f(t)$ "отклик" его имеет довольно сложное аналитическое выражение. Численный анализ этого решения на ЭВМ, проведенный в работе [Siredey C., 1967] позволил получить следующие условия разрешения по времени этих колебаний $\Delta F^2/4\beta \leq 0,1$, $\delta t_{\text{опт}} > 1,4 \cdot \Delta t$. Оптимальная ширина фильтра $\Delta F_{\text{опт}}$ для получения наилучшего разрешения по времени при данном β равна $\Delta F_{\text{опт}} = 2\sqrt{(\beta \ln 1,43/\pi)}$, $\alpha_{\text{опт}} = \pi f_{0j}^2/\beta$.

В этой главе приведен также анализ экспериментальных погрешностей на этапе ввода в ЭВМ с аналоговой магнитной ленты (см. блок-схему ЦСА).



В третьей главе содержится описание результатов анализа экспериментальных данных.

1. Выполнено исследование тонкой структуры коротких свистящих частично-диспергированных атмосфериков (КСА):

а) высокая разрешающая способность цифрового спектрального анализа по времени, достигнутая благодаря выбору оптимальных параметров цифровых фильтров, позволила разделить предполагаемые два электронных свистящих атмосферика, а также протонную ветвь, то есть определить их цифровые сонограммы $f(t)$, амплитудные спектры и временной сдвиг между ними;

б) статистическая обработка и анализ большого количества электронных СА в диапазоне частот ниже 1 кГц позволили сделать вывод, что частота максимума амплитудного спектра СА, по-видимому, больше зависит от расстояния источника СА в приземном волноводе до начала силовой трубки, вдоль которой он распространяется, чем от высоты в ионосфере. Это подтверждается известным экспериментальным фактом смещения частоты максимума в спектрах ночных атмосфериков в приземном волноводе с $f = 700$ Гц на расстояниях $r = 1000$ км от источника до $f \sim 100$ -150 Гц на $r = 3000$ км;

в) на основе анализа протонной ветви СА определяется температура, а также градиенты относительной концентрации протонов во внешней ионосфере;

г) обнаружен ранее неизвестный эффект возбуждения во внешней ионосфере КНЧ шумового электромагнитного излучения под воздействием КСА. Он наблюдался в период сильной грозовой активности в ночное местное время. Интенсивность стимулированного излучения (СИ) более, чем на порядок выше интенсивности естественного шумового фона и одного порядка или ниже интенсивности запускающего КСА. Эти пакеты волн генерируются на частотах, совпадающих с частотами интерференционных максимумов КСА. Эффект наблюдается, когда их интенсивность превышает некоторый порог.

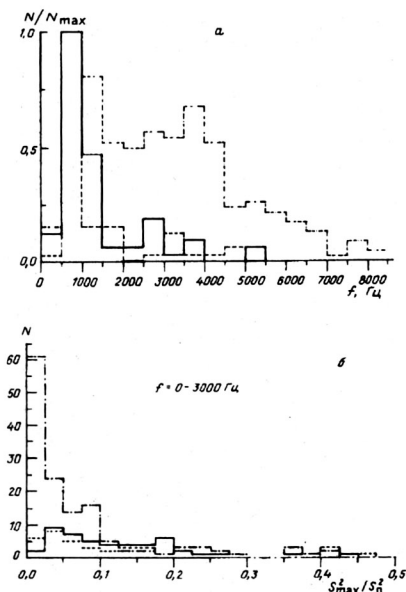


Рис. 1. Гистограммы распределения максимумов в спектре свистящих частот атмосфериков (а) и относительной интенсивности этих максимумов (б) в спокойных условиях при $Kp < 3$ (сплошная линия); при $Kp < 3$, но в сейсмоактивный период (штрихпунктирная линия); при $Kp > 3$ в отсутствие землетрясений (штриховая линия)

2. Детально исследованы амплитудные спектры свистящих атмосфериков, наблюдаемых на ИСЗ "Интеркосмос-24" при пролете над сейсмоактивными зонами в периоды подготовки землетрясений и высокой магнитной активности. Принцип разделения и анализа данных по трем группам с разными геофизическими условиями был предложен Г.А.Михайловой. Результаты статистической обработки, приведенные на рис.1, показали следующее:

- в спокойный период в отсутствие сейсмических и геомагнитных возмущений в спектрах сигналов наблюдаются преимущественно КНЧ-компоненты ($f < 3$ кГц) с верхней частотой отсечки $f_c \sim 1,5$ кГц. Этот

результат хорошо согласуется с теоретическими представлениями о свойствах прохождения КНЧ- и ОНЧ-волн во внешнюю ионосферу из волновода Земля-ионосфера;

- с ростом геомагнитной активности верхняя частота отсечки КНЧ-компонент смещается к более низким частотам (700-1000 Гц), что указывает, согласно теоретическим представлениям, на усиление затухания КНЧ-волн при их прохождении через *D*-слой ионосферы;

- в сейсмоактивный период в подготовительную фазу землетрясений в спектрах свистящих атмосфериков наблюдается смещение верхней частоты отсечки КНЧ-компонент к более высоким частотам (2,5-3 кГц) и появление ОНЧ-компонент, т.е. ослабление затухания КНЧ- и ОНЧ-волн при их

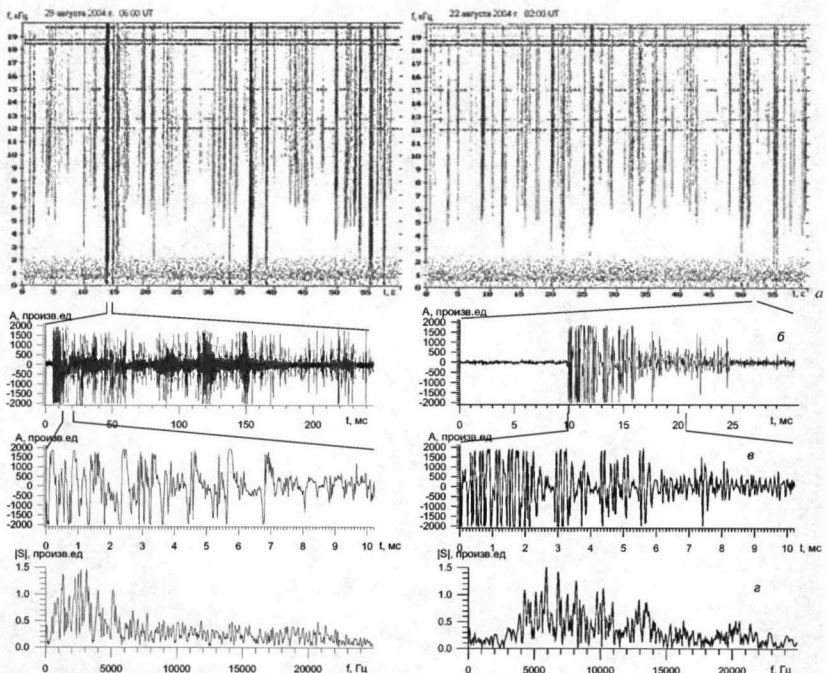


Рис.2. Спектрограммы электромагнитных излучений в полосе частот 20-20 000 Гц длительностью 1 мин (а), зависимость амплитуды поля от времени выборочных фрагментов длительностью 300 мс (б) и 10 мс (в), спектр Фурье коротких фрагментов (г). Все рисунки слева относятся к 06.00 UT 29 августа, те, что справа - к 02.00 UT 22 августа.

прохождении через *D*-слой.

2. В рамках подготовки к наземно-космическим экспериментам типа КОМПАСС разработан и задействован передвижной наземный ОНЧ-комплекс ИЗМИРАН на Камчатке и совместно с ИКИР проведены исследования, связанные с сейсмической активностью и циклонами в Тихом океане:

а) Для изучения временных форм и спектров дискретных импульсов, составляющих аномальные потоки атмосфериков за сутки перед землетрясением 30 августа 2004 г. (UT = 12:23:21.60; 49,38°N; 157,42°E; D = 40; $M_p = 6,0$), были использованы широкополосные записи в полосе частот 20Гц-20КГц (АНЧ-2МЕ) в пос. Левая Авача на расстоянии около 100 км от обс. Паратунка, где проводится регистрация различных параметров. Сравнения поведения этих параметров в течение двух суток 29-30 августа показало, что источником аномальных потоков дискретных электромагнитных сигналов могли быть местные грозовые процессы. Прямым подтверждением этого вывода оказались результаты широкополосных записей в полосе частот 20 Гц - 20 кГц с дискретностью по времени 20 мкс (прибор АНЧ-2МЕ). На рис.2 показаны результаты анализа двух записей: в максимуме N имп/мин аномального всплеска 29 августа в 06.00 UT и контрольной записи 22 августа в 02.00 UT. В результате тонкого спектрально-временного анализа цугов дискретных электромагнитных импульсов, наблюдаемых в максимуме их потока в 06.00 UT 29 августа, удалось вскрыть динамику их временных форм, длительностей и спектров. Длительности этих цугов составляют величины порядка 100-300 мс. Все особенности временных и спектральных дискретных электромагнитных сигналов в их аномальных потоках совпадают с соответствующими характеристиками молниевых разрядов в ближней зоне источника (<1000 км), в то время как характеристики сигналов в контрольной записи соответствуют параметрам сигналов от дальних источников. Одновременные измерения электромагнитного поля в режиме узкополосной регистрации в двух разнесенных пунктах (Карымшина и Левая Авача)

позволяют предполагать, что это атмосферное явление имело пространственную протяженность не менее 120 км и время жизни ~ 3 ч;

б) во многих случаях возросший поток импульсных сигналов не совпадает с направлением на эпицентр землетрясения, а их временная форма близка к форме обычных атмосфериков, генерируемых удаленными грозовыми источниками. Более того, регистрация электромагнитных сигналов перед сильными землетрясениями на Камчатке показала, что их источники не только не совпадают с эпицентральной зоной, а удалены в акваторию Тихого океана и перемещаются с востока на запад. Этот факт наводил на мысль, что в

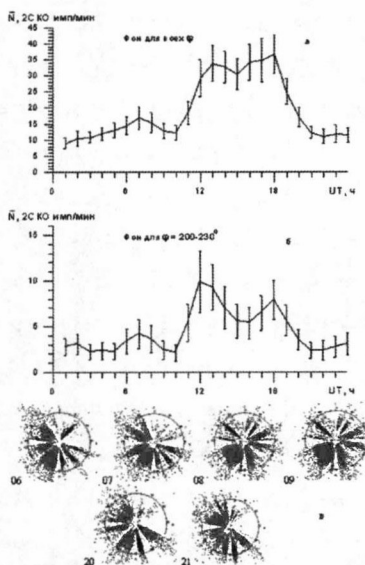


Рис.3. Средний фоновый уровень потока атмосфериков, пришедших в пункт регистрации со всех направлений (а), от источников с азимутами $\varphi = 200-230^\circ$ (б) и полярная диаграмма азимутов (в) в период 6-9, 20-21 августа. Вертикальные отрезки – среднеквадратичное отклонение.

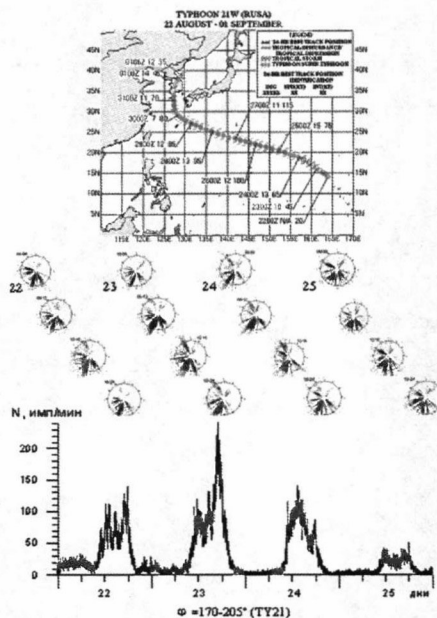


Рис.4. Траектория тайфуна ТУ21 (Rusa) 22 августа-1 сентября, азимутальное распределение направлений на источники сигналов и суточное распределение потока атмосфериков в секторе $170-205^\circ$.

большинстве случаев источником усиления интенсивности потоков импульсных сигналов на Камчатке, по-видимому, могли быть тропические циклоны. Для детального анализа динамики развития грозовой активности во

время тропических циклонов были использованы данные ОНЧ-пеленгатора. Алгоритм обработки позволяет выделять отдельные направления азимутов в определенные интервалы времени в суточном распределении потоков атмосфериков. В отсутствие циклонов грозы над Тихим океаном наблюдаются крайне редко, особенно днем, и уровень атмосферных помех над океаном и на Камчатке определяется континентальными источниками. На рис.3 приведены средние данные о потоках атмосфериков в это время, а на рис.4 – во время сильного тайфуна.

Анализ всей совокупности данных о потоках атмосфериков на Камчатке как меры грозовой активности во время тропических циклонов в западной части Тихого океана показал следующее:

- усиление грозовой активности происходило преимущественно на стадии тропической депрессии, независимо оттого, перерастала она в тропический шторм или нет ;
- характер изменений в ночное и дневное местное время несколько различался: в освещенное время суток во время тропических циклонов аномальные всплески потоков атмосфериков проявлялись наиболее ярко.

4. Проведена полная обработка и визуализация узкополосных УНЧ-КНЧ-ОНЧ данных, полученных на спутнике Интеркосмос-24 в период 1989-1992 гг. В приэкваториальной зоне, главным образом над Тихим океаном, в дневное время обнаружены аномально высокие абсолютные значения электрической компоненты. На рис.5 приведены дневные и, для сравнения, ночные данные, полученные в сентябре 1990г. Подробное изучение данных над Тихим океаном позволило сделать следующие выводы:

- в отсутствие тайфунов электрическое поле в дневное время не превышает фоновый уровень, а в ночное – уровень довольно высокий на всех частотах;
- впервые обнаружены аномально высокие значения электрического поля в УНЧ-КНЧ диапазоне частот в дневное местное время над акваторией Тихого океана во время развития тайфуна. Излучение наблюдалось вблизи экватора, вдоль L-оболочки $\sim 1,4$ в узком диапазоне широт на каждом пролете $\sim 7-10^\circ$.

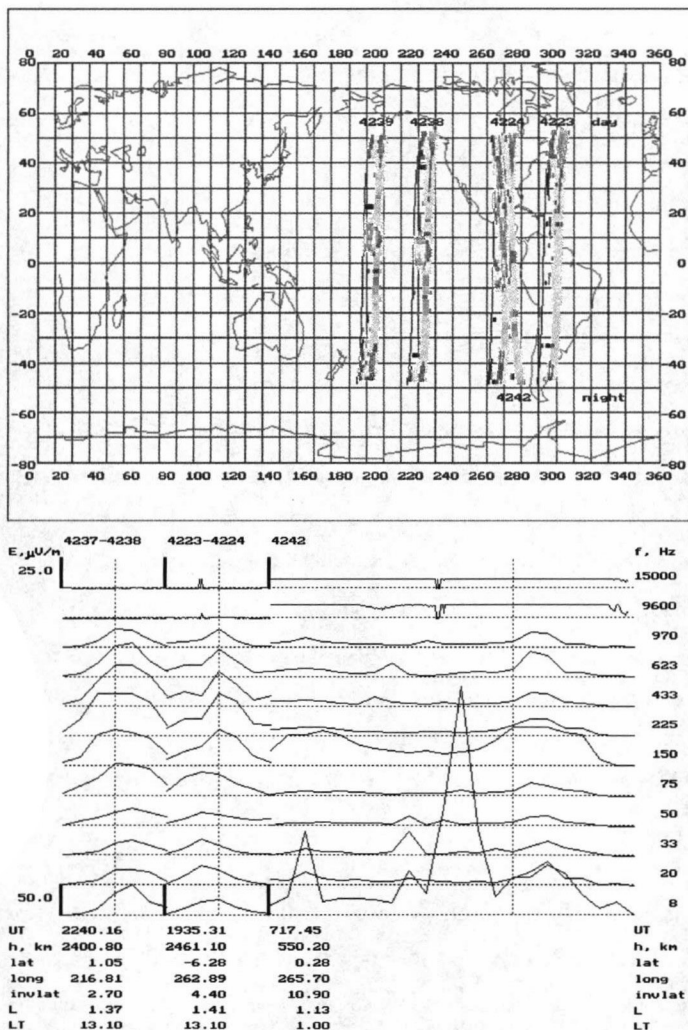


Рис.5. Вверху - пространственное распределение УНЧ-КНЧ излучений при прохождении спутника вблизи экватора. Внизу - абсолютные значения электрического поля на частотах фильтровых каналов, указанных справа.

В заключении кратко перечислены полученные результаты и отмечено, что с применением цифрового спектрального анализа можно решать широкий круг задач исследования приземной плазмы, связанных с использованием тонкой структуры КНЧ и ОНЧ волн, регистрируемых в спутниковых и наземных экспериментах.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Альперт Я.Л., Башилов И.П., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Львова Г.П. Об экспериментальной установке для исследований тонкой структуры низкочастотных электромагнитных процессов и некоторые результаты ее испытаний. Космич. исслед. т.ХІІІ, 1975, Т.4, с. 541.
2. Михайлова Г.А., Капустина О.В. О некоторых результатах анализа квазипериодической структуры сонограмм свистящих атмосфериков. Космич. исслед. Т.ХІІІ, 1976, вып.3, с.458-460.
3. Михайлова Г.А., Капустина О.В. Спектрально-временной анализ свистящих атмосфериков цифровыми методами. Геомагнетизм и аэрономия, 1978, Т.18, №3, С.473.
4. Михайлова Г.А., Капустина О.В. Определение температуры протонов во внешней ионосфере по амплитудным спектрам протонных свистящих атмосфериков (ИСЗ Интеркосмос-5). Геомагнетизм и аэрономия, 1979, Т.19, №3, С.564.
5. Н.И.Будько, О.В.Капустина, Г.А. Михайлова. Определение температуры протонов во внешней ионосфере по амплитудным спектрам протонных свистящих атмосфериков (ИСЗ Интеркосмос-5). Artificial satellites, 1980, Т.15, №3, С.194.
6. Капустина О.В., Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М. Особенности амплитудных спектров свистящих атмосфериков на частотах ниже 1кГц (ИСЗ Интеркосмос-5 и Интеркосмос-14). Геомагнетизм и аэрономия. 1981, Т.21, №3, С.457-462.

7. Михайлова Г.А., Капустина О.В., Михайлов Ю.М. Возбуждение сверхнизкочастотных пакетов волн в ионосфере короткими свистящими атмосфериками (наблюдения на ИСЗ "Интеркосмос-14"). Геомагнетизм и аэрономия. 1982, Т.22, №4. С.591-595.
8. Michailova G.A., Kapustina O.V. and. Mikhailov Yu.M. ELF emission in the outer ionosphere stimulated by short fractional-hop whistlers. Journ. Atmos. Terr. Phys. 1983. V.45, N12, P.823-832.
9. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В. КНЧ-ОНЧ-электромагнитный фон во внешней ионосфере над сейсмоактивными районами (ИСЗ "Интеркосмос-24") // Геомагнетизм и аэрономия, 1997, Т.37, №4 с.78-85.
10. G.A.Mikhailova, Yu.M.Mikhailov, and O.V.Kapustina. ULF-VLF Electric Fields in the External Ionosphere Over Powerfull Typhoons in Pacific Ocean. International Journal of Geomagnetism and aeronomy. Vol.2, No.2, pp.153-158, 2000.
11. G.A.Mikhailova, Yu.M.Mikhailov, and O.V.Kapustina. Variations of ULF-VLF Electric Fields in the External Ionosphere Over Powerfull Typhoons in Pacific Ocean. Adv.Space Res. Vol.30, No.11, pp.2613-26-18, 2002.
12. Ю. М. Михайлов, Г. А. Михайлова, О. В. Капустина, Г. И. Дружин, С.Ю.Смирнов. Электрические и электромагнитные процессы в приземной атмосфере перед землетрясениями на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. Т.46. №6. С.839-852. 2006.
13. Михайлов Ю. М., Дружин Г. И., Михайлова Г. А., Капустина О. В. Динамика грозовой активности во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрономия. Т.46. №6. С.825-838. 2006.



Подписано в печать 12.11.2008 г.
Формат 60х84/16. Печ. л. 1.
Тираж 100 экз. Заказ 2251.

Издательство «Тровант»
ЛР 071961 от 01.09.1999 г.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии издательства «Тровант».
142191, г. Троицк Московской обл., м-н «В», д. 52.
Тел. (495) 775-43-35, (4967) 50-21-81
E-mail: trovant@ttk.ru, <http://www.trovant.ru/>

